

Werkdocument

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

Aan
werkgroepsleden OOSTWEST

Van
Dirk van Maldegem

Datum
12 december 1995

Nummer
RIKZ/AB/95.818x

Onderwerp
Relatie tussen Schelde-afvoer en zoutgehalte

Doorkiesnummer
01180-72222

Bijlage(n)

Project
OOSTWEST

De relatie tussen de Schelde-afvoer te Schelle en het zoutgehalte is bepaald voor de Schelde-afvoer te Schelle en het zoutgehalte van de meetpalen Oosterweel, Prosperpolder, Baalhoek en Hoofdplaat.

De zoetwaterafvoer te Schelle beïnvloedt met enige vertraging de zoutgehalten van de meetpalen op een afstand van ca. 15, 35, 45 en 85 kilometer, gemeten langs de as van het estuarium (BIJLAGE 1).

De snelheid waarmee het zoutgehalte zich aanpast heeft te maken met de resulterende werking van een aantal fenomenen. De belangrijkste hiervan zijn:

1. de voortplanting van de hoogwatergolf

formule $c = u + \sqrt{g \cdot a}$, waarbij $u = Q/A$

2. het transport van water en zout door dichtheidsstroom

formule $v = 0.45 \cdot \sqrt{\delta \cdot g \cdot h}$

3. de advectie door de verstoring van de zoetwaterafvoer

formule $w = q/A$

4. het transport van water en zout door diffusie

formule $z = F/c/A$, waarbij $F = A \cdot D \cdot dc/dx$

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16500

INTERMEZZO

Om een idee te krijgen over de theoretische aanpassingssnelheid van het zoutgehalte aan de verandering van de Schelde-afvoer is aan de hand van voorgaande formules een exercitie uitgevoerd voor de meetpaal te Baalhoek:

De betekenis van de gebruikte symbolen en aannamen voor de rekenwaarden:

c	= voortplantingsnelheid hoogwatergolf [m/s]
u	= resulterende stroomsnelheid rivier [m/s]
v	= stroomsnelheid door dichtheidsstroom [m/s]
w	= stroomsnelheid door verstoring debiet [m/s]
z	= stroomsnelheid door diffusie [m/s]
h	= gemiddelde waterdiepte [m] AANNAME $h \approx 10$ m.
a	= verstoring waterniveau door afvoergolf [m]
g	= gravitatieconstante [m/s^2] AANNAME $g \approx 10$ m/s^2
Q	= afvoerdebiet [m^3/s] AANNAME $Q \approx 120$ m^3/s .
q	= verstoring afvoerdebiet [m^3/s] AANNAME $q \approx 40$ m^3/s in periode 1988 t/m 1993.
A	= doorstroomoppervlak [m^2] AANNAME $A \approx 10000$ m^2
F	= zoutflux [kg/s]
δ	= relatieve dichtheid [-]
dc/dx	= zoutgradiënt [$\text{kg/m}^3/\text{m}$]
c	= gemiddeld zoutgehalte [kg/m^3] AANNAME $c \approx 2$ kg/m^3
D	= diffusiecoëfficiënt [m^2/s] AANNAME $D \approx 10$ m^2/s in de natuur

De rekenresultaten zijn:

Ad 1. Stel $a \approx 0.001$ tot 0.1 m. $\rightarrow c \approx 0.15$ tot 1.05 m/s.

De afstand Schelle-Baalhoek (45000 m.) door de voortplanting van de hoogwatergolf in orde 1 tot 3 dagen.

Ad 2. Stel dat het dichtheidsverschil 0.01 tot 1 g/l bedraagt, $\rightarrow v = 0.01$ tot 0.14 m/s.

De dichtheidsstroom doet er 4 tot 50 dagen over om Baalhoek te bereiken.

Ad 3. Uit de formule volgt $w \approx 0.004$ m/s. De verstoring van het debiet bereikt na 130 dagen Baalhoek.

Ad 4. De zoutflux F door diffusie bedraagt ca. 20 kg/s.
Hieruit volgt een stroomsnelheid van 0.001 m/s.
Na 500 dagen wordt de invloed van diffusie te Baalhoek merkbaar.

Voortplanting van de hoogwatergolf zegt weinig over het transport van zout. Door dichtheidsstroom is er theoretisch binnen enkele decaden invloed merkbaar op het zoutgehalte. Alleen verstoring van het debiet en diffusie zijn schijnbaar van weinig invloed op korte termijn. De werkelijkheid speelt zich af in een getijdesysteem, waar restcirculaties vaak een grote rol spelen. Bij afregelen van wiskundige modellen geven dispersiecoëfficiënten van orde $250 \text{ m}^2/\text{s}$ vaak goede resultaten. Dit is een 25 groter dan diffusie en geeft zodoende een indicatie, dat binnen enkele decaden de invloed van de verandering van de Schelde-afvoer op het zoutgehalte merkbaar zal zijn.

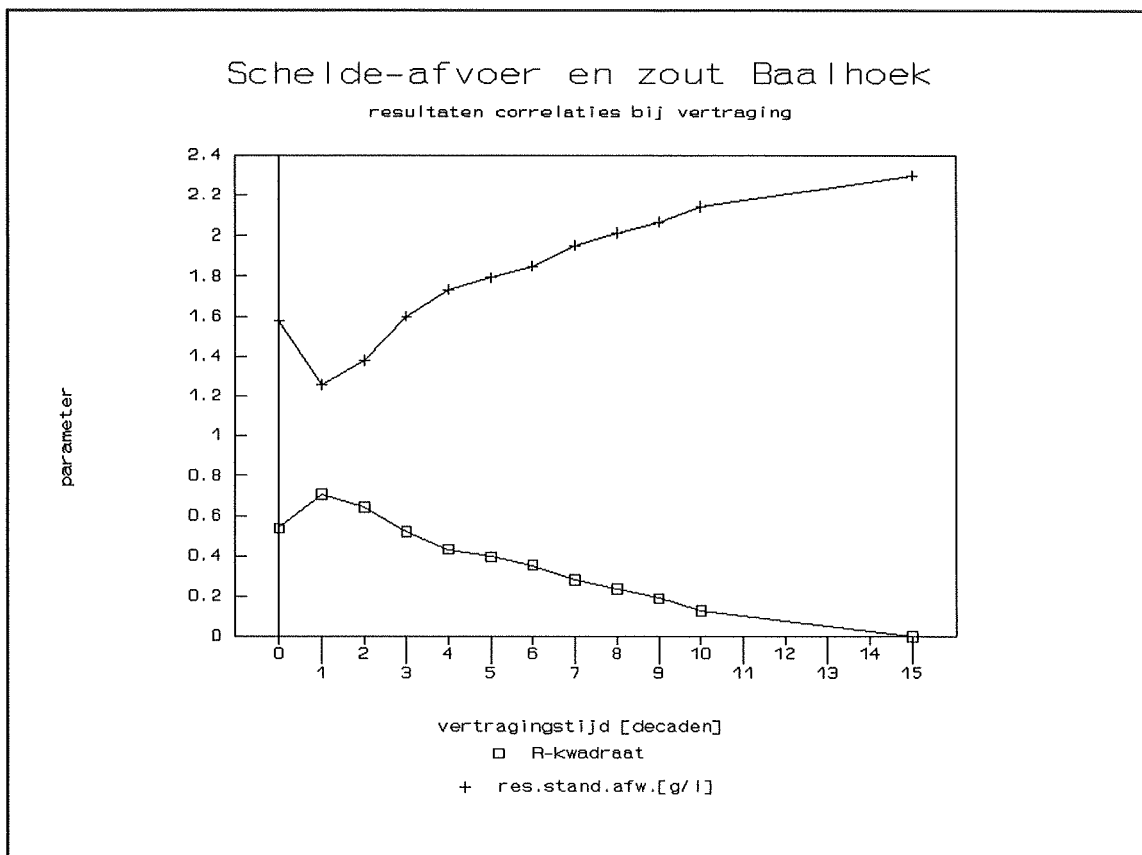
De vertragende werking van het getijdesysteem op de verandering van het zoutgehalte bij een veranderde Schelde-afvoer is door correlatie onderzocht. Voor de periode 1988-1994 is de tijdsvertraging bepaald van de zoutgegevens bepaald, welke het beste correleert met de Schelde-afvoer-gegevens. Om het effect van doodtij-springtij te elimineren is uitgegaan van het 14 daagsgemiddelde zoutgehalte [BIJLAGE 2]. De gegevens van de Schelde-afvoer zijn decadegemiddeld.

De wijze, waarop de 14 daagse zoutgegevens en de decade Schelde-afvoeren zijn gekoppeld, is aangegeven in het volgende overzicht:

Decade: valt gemiddeld in dag: 14-daagse periode over:

1	5	dag -2 tot 12
2	15	dag 8 tot 22
3	25	dag 18 tot 32

Uit het correlatie-onderzoek volgt dat er tot 12 decaden vertraging van het zoutgehalte een verbeterde bijdrage is aan de correlatie. Uit het verloop van de individuele correlaties bij vertraging volgt dat één decade vertraging van de zoutgegevens te Baalhoek het beste correleren.



Figuur 1. Resultaten correlatie-onderzoek
"geheugen" zoutgehalte

Dit resultaat komt overeen met het afregelen van het SCALDIS model voor een diffusiecoëfficiënt van 250 m²/s.

De relatie tussen Schelde-afvoer en zoutgehalte is vervolgens vastgelegd m.b.v. multiple regressie. Na enig vooronderzoek is gebleken dat een lineair verband het beste voldoet [zie o.a. memo's P.Lievense van Directie Zeeland over zoutmodel Baalhoek]. Dit verband is simpel te schrijven als:

$$Z_t = \alpha + \sum (\beta_n * Q_{t-n}) ,$$

waarin:

Z_t = gemiddeld zoutgehalte in decade t [g/l]
 α = coëfficiënt
 β_n = coëfficiënt _{n}
 Q_{t-n} = Schelde-afvoer in decade $t-n$
 n = 0 en natuurlijk getal 1 t/m 12

De berekende waarden voor R^2 , de residuele variantie en de coëfficiënten van de multiple regressie zijn vermeld in tabel 1:

TABEL1. Resultaten multiple regressie

coëff.	Oosterweel	Prosperpolder	Baalhoek	Hoofdplaat
R^2			0.994	
Var.			0.495	
α			12.286	
β_0			-0.006	
β_1			-0.009	
β_2			-0.004	
β_3			-0.004	
β_4			-0.003	
β_5			-0.001	
β_6			-0.001	
β_7			-0.001	
β_8			-0.001	
β_9			-0.001	
β_{10}			-0.001	
β_{11}			-0.001	
β_{12}			-0.001	

De breedte van de onnauwkeurighedsband van het zoutmodel bedraagt dus ca. 0.7 g/l. Deze onnauwkeurigheid komt overeen met de verschillen, die momentaan verticaal in de overloop van Valkenisse worden gemeten.

BIJLAGE 2

Middeling chloridegehalten van meetpaal Baalhoek

Om zinvolle statistisch berekeningen te kunnen uitvoeren voor de relatie tussen de zoetwateraanvoer en het chloridegehalte in het Schelde-estuarium is de voortschrijdende trend van het daggemiddelde chloridegehalte bij Baalhoek bepaald (Figuur 1).

Door uit te gaan van daggemiddelde waarden is de variatie in chloridegehalte door het dagelijks getij verwaarloosd. Deze variatie is een band van 0.2 tot 0.5 g/l rond de daggemiddelde waarde. Figuur 2 illustreert het verloop voor de 14 daagse periode 26 januari t/m 9 februari 1989.

De voortschrijdende trend is bepaald voor de aanééngemeten periode 7 maart t/m 31 december 1993. Dagnummer 765 t/m 1064 komt overeen met deze periode. De trends zijn bepaald als lopende gemiddelden van een week, een decade, twee weken en een maand (Figuur 3). De weergegeven lijnen zijn gesynchroniseerd t.o.v. dagnummer plus 15 dagen.

De weekgemiddelde trend (Figuur 4) volgt de daggemiddelde waarden het meest nauwkeurig. Deze trend volgt de veranderingen van het chloridegehalte onder invloed van het 14 daags doodtij-springtij effect zeer goed. In een periode van 49 dagen zijn dan ook over het algemeen 7 buigpunten waarneembaar.

De decadegemiddelde trend middelt meer uit, maar het doodtij-springtij effect is nog waarneembaar. In de tweewees-gemiddelde trend is het doodtij-springtij effect praktisch geëlimineerd (Figuur 5). Bovendien loopt deze trend over het algemeen als een vloeiende lijn door de daggemiddelde waarden (Figuur 3).

Het verschil tussen de éénweeks- en tweeweeksgemiddelde waarden geeft een benadering van het doodtij-springtij effect (Figuur 6). Dit effect bedraagt ± 0.1 tot 0.2 g/l met een enkele uitschieter. De variatie in dit effect is waarschijnlijk het gevolg van de variatie van de slibgradient.

In de 30 daagse maandgemiddelde trend worden de variaties binnen één maand afgevlakt. Hierdoor ontstaan bij grote variaties binnen één maand duidelijke verschillen met het verloop van de daggemiddelde waarden.

Konklusie:

De tweeweeksgemiddelde trend geeft het verloop van het chloridegehalte na eliminatie van de getij-invloed. De variatie, die over blijft is vermoedelijk het gevolg van de zoetwateraanvoer.